

## Сбор сейсмических данных и телеметрия переходных зон

Жгенти С.А., "СИ Технолджи Инструментс", г. Геленджик

Интерес к проведению сейсмических исследований в транзитных зонах в последние годы очень вырос. Это объясняется рядом факторов, среди которых с одной стороны чисто прагматические цели: поиск и доразведка новых нефте-, газоперспективных объектов, а с другой стороны, выросшие технико-методические возможности, пробуждающие желание творить и призывающие к покорению новых технологических вершин.

В настоящее время не существует универсальных технологий проведения сейсморазведки в транзитных зонах.

Не зря некоторые исследователи развитие технологии проведения работ в переходных зонах называют последним рубежом сейсморазведки. Это действительно так. Здесь неприменимы десятилетиями до совершенства отработанные методические приемы проведения сейсморазведки на суше или на море.

Транзитные зоны представляют собой быстро меняющуюся, последовательность непротяженных участков местности с различными условиями (даже стихиями: вода и земля) проведения исследований, имеющих общую тенденцию - изменение мощности водного слоя, вплоть до полного выхода дна акватории на дневную поверхность, которое может повторяться неограниченное количество раз в пределах площади проведения работ. Естественно, что для обеспечения качественного сбора данных, на каждом из таких участков необходимо применение своих специальных технологий и оборудования.

Другими словами транзитные зоны это «уже не море, но еще не суша».

Разновидностями транзитных зон можно считать и заболоченные участки местности, и реки с их поймой, и водохранилища, и озера и т.п.

В отсутствие специальных технологий и оборудования, исследования в переходных зонах, как правило, проводятся с применением, адаптированного к использованию в водной среде, оборудования, предназначенного для проведения работ на суше. Реже, «выйти на берег» пытаются, продолжая использовать морское оборудование.

В обоих случаях это неэффективно из-за низкой производительности и низкого качества получаемого материала. Причины, по которым, качество материала, как правило, оставляет желать лучшего, кроются в вынужденной самодельности при адаптации существующего оборудования, в отсутствии универсальных, но достаточно мощных транспортных и специальных технических средств, в ограниченности методических приемов, позволяющих организовать эффективную технологию проведения работ, и обеспечить оптимальный выбор условий возбуждения и приема волновых полей.

При постановке и проведении исследований в транзитных зонах, проблемы возникают с выбором каждого элемента методики полевых работ: организации технологии высокопроизводительных наблюдений, оптимизации параметров системы наблюдений, обеспечении оптимальных условий возбуждения и приема колебаний.

Остановимся подробнее на каждом из этапов проведения работ.

### Организация наблюдений.

Как правило, наблюдения в переходных зонах это донные наблюдения с изменяющейся глубиной водного слоя вплоть до выхода на дневную поверхность. Причем такое чередование условий может наблюдаться несколько раз в пределах площади работ. Поверхность же дна может быть гладкой или поросшей травой и кустарником (мангровые или камышовые заросли), или же на дне могут находиться затопленные останки судов, строений или другой техногенный мусор, что создает трудности в расстановке сейсмических датчиков и обеспечении их хорошего контакта с грунтом.

Очевидно, что при различных типах поверхности дна эффективными будут различные технологии проведения работ.

При гладкой, не поросшей растительностью поверхности дна переходной зоны, наиболее технологично и производительно буксировать сейсмические косы и проводить наблюдения в режиме «старт - стоп». Для эффективного проведения наблюдений судно буксир сейсмической косы должно развивать достаточное для буксировки усилие, а приемная коса - выдерживать высокие нагрузки на разрыв. Такой подход реализован компанией INPUT/OUTPUT в ее донной 4С косе OBC [2] и в телеметрической системе X-Zone Marsh Line (разработчик и производитель "СИ ТЕХНОЛОДЖИ ИНСТРУМЕНТС"), которая выдерживает разрывные нагрузки до 8 тонн [1]. Эффективность применения буксируемой косы для проведения исследований на мелководье (при глубинах дна от 3 - 5 метров) доказана многочисленными исследованиями компании Гео-Хазар [3]. Однако при меньших глубинах в организации работ возникают трудности, связанные с отсутствием транспортных средств, позволяющих развить усилие, требуемое для буксировки косы. Все известные транспортные средства, имеющие необходимую мелкую посадку не в состоянии обеспечить требуемое для буксировки усилие. Буксировке оборудования мешают и плавающие пучки и даже плавающие «острова» водорослей, что требует совершенствования методики раскладки буев, обозначающих различные участки профилей и связывающих технологические этапы работ.

На участках транзитных зон с глубинами дна не превышающими 1,5 м буксировка косы практически не реализуема, и проведение работ возможно пока только путем сбора и размотки «конвейерных» секций косы (аналог сухопутных работ). Как правило, в транзитных зонах с такими мелкими глубинами дно содержит много техногенного мусора и густые заросли водорослей, что усложняет процесс выбора и раскладки косы, а так же ухудшает контакт датчиков с грунтом. Можно было бы предложить проводить предварительную подготовку (траление - очистку) профилей наблюдений, но для этого опять необходимо транспортное средство, которое в состоянии обеспечить требуемое буксирующее усилие.

Возможно, что в переходных зонах с глубинами до 1,5 м наиболее эффективным остается применение технологии, принятой при сухопутных исследованиях, когда сейсмические датчики



устанавливаются на пикетах приема вручную. При этом выбор способа обеспечения хорошего контакта датчика с грунтом зависит от типа донных условий и в каждом конкретном условиях может быть различным: штырь различной длины, герметичный контейнер специальной формы или тяжелая платформа.

#### О возбуждении колебаний.

Поскольку большая часть объемов работ все же выполняется при возбуждении и приеме колебаний в водной среде, то при выборе их оптимальных условий необходимо учитывать влияние интерференционных явлений происходящих в ближних зонах источника и приемника. Речь идет об учете наложения на прямую волну или регистрируемую отраженную волну, сопоставимой по амплитуде волны-спутника, образующейся на акустически резкой водной поверхности, коэффициент отражения которой близок к 1.

Известная рекомендация по погружению источника возбуждения колебаний на глубину, равную  $1/4$  длины преобладающей (видимой) волны, под акустически резкую поверхность воды, применяется на морских или сухопутных работах. При работах в транзитных зонах такая рекомендация может быть реализована только частично, пока это позволяет мощность водного слоя.

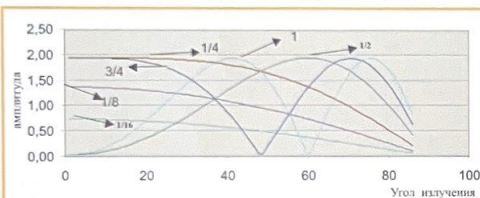


Рис. 1. Характеристики направленности источника, погруженного под водную поверхность. (параметр кривых  $h/L_0 = 1/16; 1/8; 1/4; 1/2$  и т.д. см. на рисунке)

На рис. 1 приведены характеристики направленности источника возбуждения колебаний, формирующих суммарный зондирующий сигнал при различных величинах соотношения глубины погружения источника к преобладающей (видимой) длине возбуждаемой волны. Из рассмотрения характеристик направленности видно, что амплитуда зондирующего сигнала в диапазоне углов излучения в направлении приемной расстановки сильно зависит от глубины погружения источника, которая, однако, в случае транзитных зон, ограничивается глубиной дна. Если величину коэффициента отражения от поверхности воды принять равной 0,95, то амплитуда зондирующего сигнала при различных задержках в сложении волн, может меняться в диапазоне от 1,95 до 0,05.

На рис. 2 видно, как направленность источника отражается на амплитудах различных частотных составляющих в спектре зондирующего сигнала. Если принять  $f_0 = 30$  Гц, а скорость распространения волн в морской среде - 1500 м/с, то из рассмотрения характеристик для частотных составляющих 60 Гц, 90 Гц и 120 Гц следует, что изменение их амплитуды может достигать 39 раз. Учитывая уровень помех, легко понять, почему их прослеживание на некоторых удалениях от ПВ становится невозможным. Возбуждению более широкого частотного спектра колебаний, т.е., в конечном итоге, более разрешенной формы зондирующего сигнала (правда при некотором снижении уровня энергии в области основного максимума спектра), способствует применение

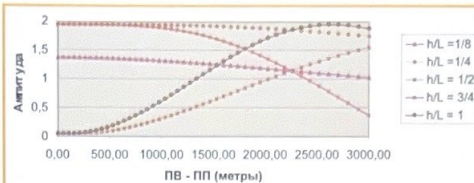


Рис. 2. Изменение амплитуды частотных составляющих в спектре зондирующего сигнала, связанное с наложением волны-спутника.

глубин погружения источника меньших, чем на  $1/4$  длины преобладающей (видимой) волны, но до определенного предела, зависящего от емкости камеры пневмоисточника.

Дальнейшее вынужденное уменьшение глубины погружения источника, например, связанное с уменьшением глубины дна, приводит к выбросу (схлопыванию) воздушного пузыря, - «выстрелу в воздух».

Для возбуждения колебаний при малых глубинах дна (меньших 3 м), необходимо применение других технологий, например, специальных устройств, препятствующих схлопыванию газового пузыря, поверхностных источников колебаний, или погружение источника колебаний во взрывную скважину.

Сильная зависимость спектральных характеристик зондирующего сигнала от глубины дна и вынужденная смена способов возбуждения волнового поля приводят в итоге к существенным различиям в качестве динамических характеристик регистрируемых данных и, к необходимости разработки способов увязки наблюдений выполненных на различных участках транзитных зон.

#### О приеме колебаний.

Интенсивная волна-спутник, образующаяся от водной поверхности, оказывает сильное влияние и на прием колебаний, формируя суммарный отраженный сигнал. В силу того, что коэффициент отражения от поверхности воды близок к единице, образующаяся на ней волна-спутник сравнима по интенсивности с отраженной волной, представляющей объект исследований.

Эти волны, интерферируя в ближней зоне источника, когда задержка в сложении волн не превышает длительности сейсмического сигнала, формируют суммарный отраженный сигнал. При задержках больших длительности сигнала, они регистрируются раздельно, а волна-спутник может рассматриваться как интенсивная кратная волна-помеха, вызывающая реверберацию помех в водном слое.

На рис. 3 приведены характеристики направленности сложения отраженной волны с волной-спутником, образующейся на поверхности воды, при различных величинах отношения глубины погружения приемника (глубины дна) к длине

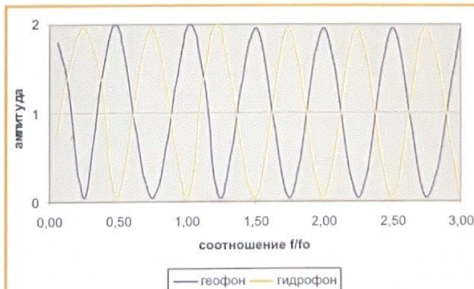


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики приемника при учете наложения волны-спутника.



# ТЕЛЕМЕТРИЯ СЕГОДНЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ





преобладающей регистрируемой волны для случая использования для приема колебаний геофона и гидрофона. В силу того, что геофон и гидрофон имеют различные характеристики направленности 1-го рода, влияние глубины дна на динамические характеристики принимаемого суммарного отраженного сигнала для них различно. Противоположные экстремумы кривых совпадают по оси  $h/\lambda$ .

Максимальные значения амплитуды суммарного принимаемого сигнала образуются при глубинах дна равных  $1/4 + (n-1/2)$  длины преобладающей (видимой) волны в случае применения гидрофона, а при использовании геофонов на глубинах дна  $1/2 + (n-1/2)$  длины преобладающей (видимой) длины волны ( $n$  - любое целое число).

Интерференция волн в ближней зоне приемника оказывает сильное влияние на амплитуды регистрируемых спектральных составляющих. На рис. 4 приведены характеристики направленности приема колебаний с учетом наложения волны-спутника для геофона и гидрофона при погружении их на глубину 5 метров (скорость распространения волн в водном слое - 1500 м/с). Характеристики рассчитаны для случая вертикального подхода волн. Глубина погружения приемника под поверхность воды, или глубина дна в точке приема для донных наблюдений, при учете интерференции в его ближней зоне, обеспечивает значительное различие в интенсивности частотных составляющих, принимаемых геофоном и гидрофоном. На частоте 75 Гц разные датчики имеют противоположные экстремумы. Регистрируемый геофоном отраженный сигнал существенно ослаблен в диапазоне частот 50 - 100 Гц, что, при высоком уровне шумов, может препятствовать его прослеживанию и даже обнаружению на этих частотах. Глубина погружения приемника гидрофона под водную поверхность 5 м (в принятой модели) обеспечивает такие условия интерференции волн в ближней зоне приемника, которые благоприятны для приема колебаний практически во всем сейсмическом диапазоне частот. Такие изменения характеристик приема происходят в каждой точке наблюдений транзитной зоны, поскольку меняется глубина дна. Этот факт еще раз объясняет низкое качество получаемых материалов в случаях, когда для приема колебаний используется только один тип датчиков.

При проведении сейсмических исследований в

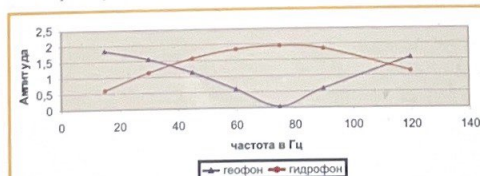


Рис. 4. Характеристики направленности приема при учете наложения волны-спутника (геофон и гидрофон).

транзитных зонах стабилизация условий приема колебаний - один из важнейших факторов, влияющих на качество регистрируемых данных и, в конечном итоге, на выбор технологии проведения работ.

Очевидно, что глубиной погружения приемника под поверхность воды при донных наблюдениях управлять не получается - она задана природой. Что же делать в такой ситуации?

Можно постараться минимизировать неуправляемое влияние на динамические характеристики регистрируемой волны условий наложения волны-

спутника, образующейся на поверхности воды. Для этого необходимо проводить синхронный прием колебаний в каждом пункте одновременно геофоном и гидрофоном.

В этом случае можно избежать сильной изменчивости динамических параметров принимаемых отраженных волн, связанных с изменением глубины дна в транзитной зоне.

Конечно для одновременного приема и синхронной регистрации должны использоваться датчики смещения и датчики давления близкие по своим амплитудно- и фазо-частотным характеристикам, например гидрофоны и акселерометры.

Если, по каким-то причинам, применение акселерометров невозможно, то данные, регистрируемые обычным геофоном (датчик скорости), должны быть предварительно трансформированы в область измерения ускорений смещения, что обеспечит корректность процедуры суммирования колебаний синхронно принимаемых гидрофоном и геофоном.

Необходимость применения в каждом пункте приема 2-х датчиков (наблюдения 2С) предъявляет специфические требования к телеметрическому регистрирующему оборудованию, применяемому для сейсмических исследований в транзитных зонах. Телеметрические системы регистрации для транзитных зон должны поддерживать использование минимум вдвое большего числа активных каналов по сравнению с аналогичными сухопутными или морскими системами регистрации. А если учесть желание заказчиков - нефте-, газодобывающих компаний, получать информацию о полном сейсмическом поле продольных и поперечных (обменных) волн (3С исследования), то поддерживаемое число активных каналов в системах регистрации для транзитных зон должно быть еще большим, - обеспечивающим возможность проведения 4С наблюдений. По всем другим параметрам это специальное оборудование должно соответствовать современным требованиям, предъявляемым к сейсмическим регистрирующим системам.

Наилучшим образом это реализовано в уникальной, специально разработанной для исследований в переходных зонах, телеметрической регистрирующей системе XZone-Marsh Line производства компании "СИ ТЕХНОЛОД-ЖИ ИНСТРУМЕНТС" (Россия, г. Геленджик) [1].

Поддерживая большое число каналов, и используя прочную буксируемую основу, система XZone - Marsh Line позволяет проводить сейсмические наблюдения 2D2C, 2D4C и 3D4C практически в любых условиях переходных зон, обеспечивая получение полевых материалов высокого качества.

Кроме работ непосредственно в переходных зонах система Marsh Line эффективна и при сейсмических исследованиях в прилегающей к акватории суше или при продолжении сейсмических профилей в открытое море с глубиной погружения регистрирующих линий до 200 метров.

#### Литература

1. Баленко С.Н., Крутов А.Л. «Система Marsh Line - от испытаний до производственной эксплуатации». Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики», 01/2005.
2. Jon Tessman, Input/Output «Multicomponent Technology». Multicomponent Symposium 2003.
3. Долгов В.В. «Опыт проведения морских сейсмических исследований в транзитных и мелководных зонах с использованием новых отечественных разработок». Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики», 01/2005.